

スポンジケーキの調製における卵泡沫構成タンパク質におよぼすバター添加温度の影響

前田 智子, 浅川 具美*, 森田 尚文

(大阪府立大学農学部, *同志社女子大学生活科学部)

原稿受付平成 11 年 6 月 23 日; 原稿受理平成 12 年 4 月 12 日

Effect of Butter Temperature on the Constituent Protein in Egg Foam for Baking Sponge Cakes

Tomoko MAEDA, Tomomi ASAKAWA* and Naofumi MORITA

Department of Applied Biological Chemistry, Osaka Prefecture University, Sakai 599-8531

** Faculty of Human Life and Science, Doshisha Women's College of Liberal Arts, Kyoto 602-0893*

The effect of the temperature of butter on the characteristics of proteins derived from egg foam were studied by using SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE). Three kinds of foam of egg yolk (40 g of egg yolk and 52.8 g of distilled water), of egg white (60 g of egg white and 20.4 g of distilled water), and of egg-yolk and -white mixtures (40 g of egg yolk and 60 g of egg white) were prepared. Each sample contained 15 g of butter, the temperature of the added butter being 40 or 98°C. After each foam had been centrifuged, the coagulum was obtained from the upper or lower layer. SDS-PAGE results showed that each coagulum contained high-molecular-weight proteins linked by disulfide bridges. When butter was added at 98°C, the foam from the yolk and egg mixture contained large amounts of low-density lipoprotein (LDL) and high-density lipoprotein (HDL) from the egg yolk with a very good emulsifying property, and also contained conalbumin and ovalbumin from the egg white with a very good foaming property in the coagulum from the lower layer. Air cells in this foam may have subsequently been strengthened to make the foam stable, and swelling of the sponge cake would consequently be accelerated.

(Received June 23, 1999; Accepted in revised form April 12, 2000)

Keywords: sponge cake スポンジケーキ, butter temperature バター添加温度, low-density lipoprotein (LDL) 低密度リポタンパク質, high-density lipoprotein (HDL) 高密度リポタンパク質, conalbumin コンアルブミン, ovalbumin オボアルブミン.

1. 緒 論

卵には加熱凝固性, 起泡性ならびに乳化性など優れた機能特性があり, これらは主に卵のタンパク質に由来するものである¹⁾. 卵の機能特性については, 加藤²⁾, 北畠と土井³⁾, 土井⁴⁾によって精力的に研究されており, 田名部⁵⁾は卵の機能特性と調理への利用について総説している. ソフトでふっくらとしたスポンジ状組織とやわらかくしっとりとした食感が特徴であるスポンジケーキの製造には, なかでも特に起泡性が重要であると思われる. 卵は泡立て操作, すなわち攪拌という物理的な操作の刺激により, 親水基を液層へ疎水基を気層に向けて吸着, 配列し界面張力を低下さ

せ泡沫が形成される. 北畠と土井⁶⁾は, 気液界面に吸着したタンパク質分子はさらに表面変性を起こし, 泡表面が不溶性の膜で覆われた状態になるため, 泡沫の安定化をもたらすと述べている. 前報⁷⁾では, バターの添加温度が高くなるとスポンジケーキはやわらかく比容積が大きくなることを報告した. そこで本報では, ケーキの膨化の良否を決定する生地中の卵泡沫をとりあげ, 気泡膜を形成するタンパク質に注目した. 泡沫を遠心分離により強制的に破泡させ, 気泡膜中のタンパク質成分を含む凝固物を分画し, それらのタンパク質成分におよぼすバター添加温度の影響を SDS-ポリアクリルアミド電気泳動 (SDS-PAGE) により検討した.

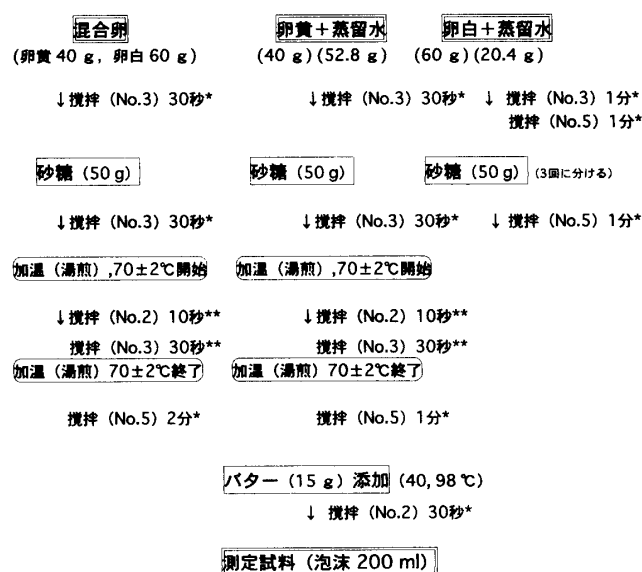


Fig. 1. Preparation of the egg foam samples

* KM-201 Electric mixer: No. 2 (209 rpm), No. 3 (302 rpm), No. 5 (489 rpm). ** MK-H2 Hand mixer: No. 2 (800 rpm), No. 3 (950 rpm).

2. 実験方法

(1) 試料

1) 材料

前報⁸⁾と同じ材料を使用した。

2) 泡沫の調製

前報⁸⁾と同様に卵黄、卵白それぞれに対するバター添加温度の影響を明らかにするため、3種類の泡沫を調製した。卵泡沫の材料配合は卵黄と卵白の両者を含む混合卵泡沫（卵黄 40 g, 卵白 60 g）、卵黄のみの卵黄泡沫（卵黄 40 g, 蒸留水 52.8 g）、卵白のみの卵白泡沫（卵白 60 g, 蒸留水 20.4 g）に、砂糖 50 g を添加した。卵黄および卵白泡沫には、食品成分表の卵白および卵黄の水分組成から算出した蒸留水量をそれぞれ添加し、3種泡沫の水分量（g）を一定にした。各泡沫の調製は Fig. 1 に示すように、3種の泡沫の比重をほぼ一定にするため各泡沫別に調製条件を決め、電動ミキサー（愛工舎製作所 KM-201）で調製した。続いて各泡沫に直接溶かしバターを添加し No. 2（209 rpm）で 30 秒間攪拌後、泡沫 200 ml を測定試料とした。バターの添加量は 15 g とし、添加温度は前報⁷⁾で試料間にもっとも顕著な差がみられた 40±3℃と 98±3℃の 2 試験区（以下、それぞれ 40℃バター添加区および 98℃バター添加区とする）とし、赤外線ホットプレート（Fisher Scientific IR-4000）で調整した。また対照としてバター無添加の試料を調製した。

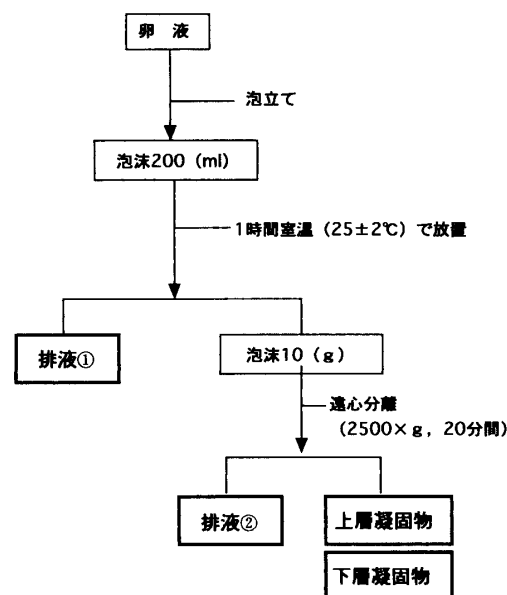


Fig. 2. Fractionation of the egg foam samples

さらにバター中にもタンパク質が 0.8% 含まれるため、本報では各温度に調整したバターについても検討した。なお前報⁸⁾と同様に、卵泡沫のタンパク質に対するバター添加温度の直接的な影響をとらえるため、鶏卵以外の材料を除去した砂糖無添加泡沫についても同様に検討をおこなった。対照試料における泡沫の比重は砂糖添加および無添加の場合で、各々 0.173±0.039 と 0.131±0.018 であった。なお本報では、すべての卵液の総重量（g）が異なるため卵液中に占めるバター含有量（%）は砂糖添加泡沫で 9.1~10.3%，無添加泡沫で 13.0~15.7% と試料間で一定ではない。しかし前報⁸⁾での予備実験において、これらのバター濃度範囲では試料間の泡沫安定性は同じ傾向を示すことを確認済みである。さらに本報では、前報⁸⁾との関係性を検討することを目的としているため、同一配合での泡沫調製を選択し、各泡沫比重を攪拌条件により一定化することで全泡沫の統一化をおこない、各泡沫の実験結果を比較可能なものとした。

3) 泡沫の分画

泡沫の分画は、Fig. 2 に示すように Kitabatake and Doi⁹⁾の方法に準じておこなった。すなわち、Fig. 1 の方法により得られた泡沫 200 ml を栓付き漏斗に注入し、1 時間室温（25±2℃）で放置した。1 時間放置後、各泡沫から分離してくる液体を排液①とした。これは、前報⁸⁾において測定した戻り液量と同一のものである。さらにそこから各泡沫 10 g を採取し、2,500×g で 20 分間遠心分離し、泡沫を強制的に破壊

スポンジケーキの調製における卵泡沫構成タンパク質におよぼすバター添加温度の影響

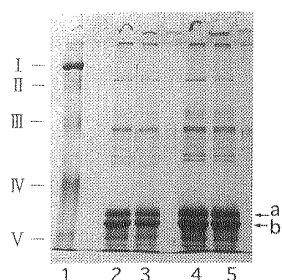


Fig. 3. Effect of butter temperature on the SDS pattern of the melted butter.

1, marker; 2, butter heated at 40°C (5 μ l); 3, butter heated at 98°C (5 μ l); 4, butter heated at 40°C (10 μ l); 5, butter heated at 98°C (10 μ l). Values in parentheses show the sample amounts injected for SDS. Markers: I, 204000; II, 121000; III, 78000; IV, 39500; V, 30700.

させ液体と凝固物に分離した。この時得られた液体を排液②とした。排液①は漏斗下部から流出させ、上層凝固物はスパテルで、排液②はパスツールピペットでそれぞれ採取した。下層凝固物はデカンテーションにより排液②を分離し、スパテラで採取した。上層および下層凝固物は、蒸留水 40 ml を加えて再び 2,500 $\times$ g, 10 分間遠心分離し、分離した液体をデカンテーションにより取り除いた。以上の操作を 2 回くり返した後、蒸留水 10 ml で洗浄しながら吸引濾過し得られた画分を凝固物とした。

(2) 電気泳動 (SDS-PAGE)

(1)~(3) の方法に従って得られた画分を Laemmli⁽¹⁰⁾ の方法に従い SDS-PAGE をおこなった。いずれの画分も 4% の SDS を含む 0.01 M トリス-塩酸緩衝液 (pH 6.8) に溶解し、排液①、②は 0.05 g/ml で 5 μ l, 上層凝固物は混合卵、卵黄試料で 0.15 g/ml とし 10 μ l, 卵白試料では 0.04 g/ml で 5 μ l, 下層凝固物ではいずれも 0.02 g/ml で 5 μ l をそれぞれ電気泳動に供した。ポリアクリルアミドの濃度は 10% とし染色はクマシーブリリアントブルー R-250 を用いた。デンストメトリーは、島津二波長フライングスポットスキャナー (CS-9000 P/N 206-13300) を用いて、波長 640 nm で測定した。

3. 結果と考察

(1) 溶かしバター

各温度に調整した溶かしバターの電気泳動図を Fig. 3 に示す。バンド位置と濃度に、バターの温度の違いによる顕著な差はみられなかったが、いずれも分子量約 3.0×10^4 付近に濃度の濃いバンド a, b が認められた。

(2) 卵 泡 沫

1) 排 液

砂糖添加および無添加泡沫における排液の電気泳動図を Fig. 4, 5 にそれぞれ示す。砂糖添加の有無にかかわらず、混合卵と卵黄泡沫の排液には分子量 20.0×10^4 以上の高分子成分を示すバンドが多くみられた。また矢印で示したように、2-メルカプトエタノール (2-ME) 添加後、消失または濃度の薄くなるバンドがみられた。しかしいずれの泡沫も、試料間にバター添加温度のちがいによる顕著な差はみられなかった。

2) 凝 固 物

i) 上層凝固物：砂糖添加および無添加泡沫の上層凝固物の電気泳動図を Fig. 6 に示す。いずれの泡沫も 2-ME 無添加で高分子を示すバンド (矢印表示) がみられ、2-ME 添加によりこれらのバンドが消失した。したがって上層凝固物には、S-S 結合を含む高分子の存在することがわかった。

砂糖添加の混合卵泡沫では 40°C バター添加区の試料で、98°C バター添加区よりも若干バンド濃度が濃くなった (Fig. 6-A)。それは特に分子量約 11.5×10^4 のバンド a そして約 8.0×10^4 、約 4.7×10^4 のバンド b, c に顕著であった。デンストメーターによる 40°C バター添加区および 98°C バター添加区の各バンドの面積比はそれぞれ 63:37, 67:33, 68:32 となった。

砂糖添加の卵黄泡沫でも、40°C 添加区の試料で 98°C よりも若干バンド濃度が濃くなった (Fig. 6-B)。それは特に分子量約 11.5×10^4 のバンド a に顕著であり、デンストメーターによる 40°C バター添加区および 98°C バター添加区の各バンドの面積比は、それぞれ 56:44 となった。卵黄のタンパク質は低密度リポタンパク質 (LDL)、リベチン、ホスビチンおよび高密度リポタンパク質 (HDL) に分けられ⁽¹¹⁾、遠心分離により透明な上清 (プラズマ) と沈殿 (グラニュール) に分けられる。プラズマはリベチンとリボフラビン結合性タンパク質、および比重の低い LDL からなり、グラニュールは HDL とホスビチン (リントタンパク質) および LDL から構成されている⁽¹²⁾。卵黄中の LDL には、分子量 1~19 万にわたる 4~5 個のポリペプチドの存在が、一方 HDL には、分子量 3.5~14 万にわたる 8 個以上のポリペプチドの存在がそれぞれ認められているため⁽¹³⁾、バンド a は LDL かあるいは HDL の一部であると推察される。

一方、砂糖添加の卵白泡沫ではバター添加試料よりも対照試料でバンド濃度が濃く、特に分子量約 $8.0 \times$

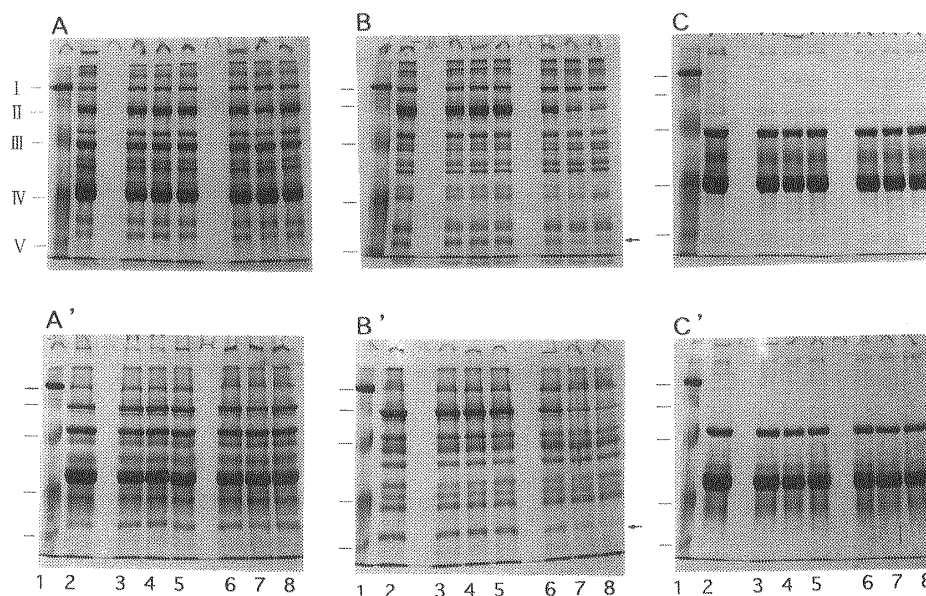


Fig. 4. Effect of butter temperature on the SDS pattern of the residual liquid obtained from egg foam with sugar
A and A': egg-yolk and -white mixture foam; B and B': egg-yolk foam; C and C': egg-white foam. The upper and lower lines show the experimental conditions with and without 2-mercaptoethanol (2-ME), respectively. 1, marker; 2, egg solution; 3, control (sample not heated, residual liquid ①); 4, sample heated at 40°C (residual liquid ①); 5, sample heated at 98°C (residual liquid ①); 6, control (residual liquid ②); 7, sample heated at 40°C (residual liquid ②); 8, sample heated at 98°C (residual liquid ②). The markers are the same as those in Fig. 3.

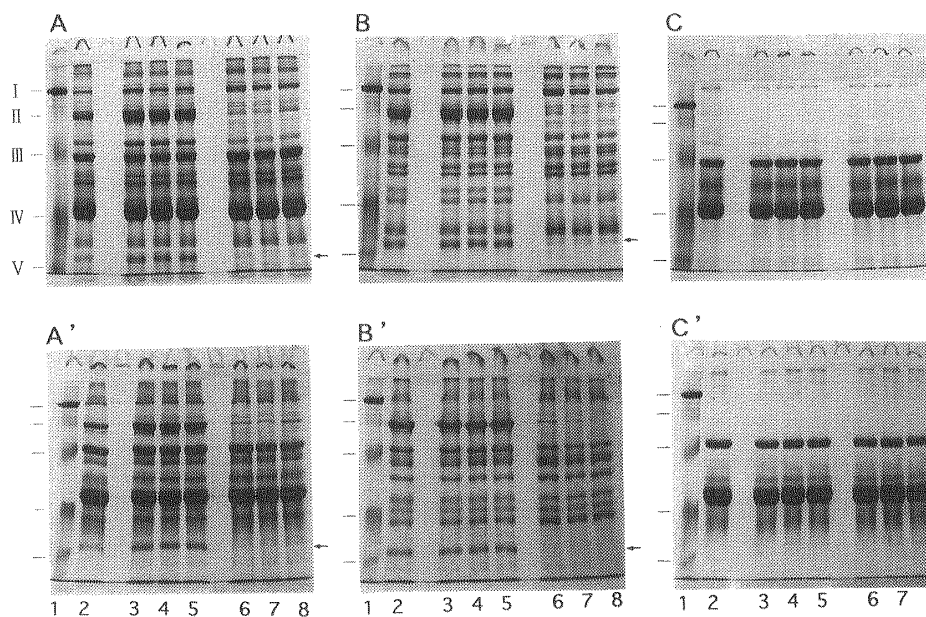


Fig. 5. Effect of butter temperature on the SDS pattern of the residual liquid obtained from egg foam samples without sugar

The experimental conditions are the same as those in Fig. 4.

10^4 , 約 4.7×10^4 のバンド b', c に顕著であった (Fig. 6-C). 卵白泡沫にみられたバンド b' と c は, それらの分子量からそれぞれコンアルブミンとオボアルブミンであると推測され, 混合卵泡沫のバンド b は

コンアルブミンを含む LDL かあるいは HDL であると思われる. 卵白泡沫ではバター添加試料よりも対照試料でバンド b', c の濃度が濃くなった. コンアルブミンは, 卵白中最も起泡性の高いタンパク質の一つであ

スポンジケーキの調製における卵泡沫構成タンパク質におよぼすバター添加温度の影響

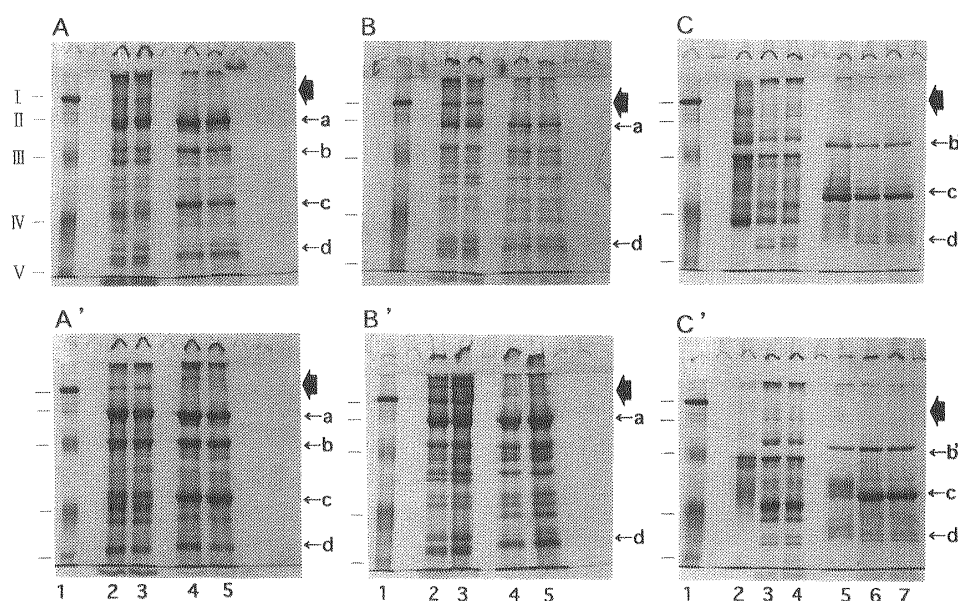


Fig. 6. Effect of butter temperature on the SDS pattern of the coagulum obtained from the upper layer of the egg foam samples

A and A': egg-yolk and -white mixture foam; B and B': egg-yolk foam; C and C': egg-white foam. The upper and lower lines show the experimental conditions with and without sugar, respectively. A, A', B and B': 1, marker; 2, sample heated at 40°C; 3, sample heated at 98°C; 4, sample heated at 40°C (2-ME); 5, sample heated at 98°C (2-ME). C and C': 1, marker; 2, control; 3, sample heated at 40°C; 4, sample heated at 98°C; 5, control (2-ME); 6, sample heated at 40°C (2-ME); 7, sample heated at 98°C (2-ME). The experimental conditions are the same as those in Fig. 4 except for the addition of 2-ME shown in parentheses.

り、加熱変性を受けやすい¹¹⁾。したがって卵白泡沫の対照試料はバターを添加されていない、すなわち熱を与えられていないためコンアルブミン成分を示すバンドb'の濃度が濃くなったと考えられる。一方、オボアルブミンは1分子内に1個のSH基と4個のS-S結合をもち、卵白中54%を占める主要タンパク質で、卵白の起泡性にも関係が深いと言われている¹²⁾。またそれは泡沫形成時に気液界面に吸着し、表面変性をして不溶性の膜を形成するタンパク質集合体の一部として知られている³⁾。バンド濃度が濃くなった卵白泡沫の対照試料では、気液界面に吸着したタンパク質が分子間の相互作用を強め、不溶性膜を強化し、泡沫を安定にしたと推察される。

またいずれの泡沫についても、バター添加試料ではバター中のタンパク質と思われる2本の低分子量バンドdが認められた。加藤²⁾はオボアルブミンの凝固物についてその分子量が大きいほど泡沫安定性を高めると報告している。本報はオボアルブミンの単一タンパク質を取り上げた実験ではないが、凝固物中のタンパク質の分子量の大きさは泡沫安定性と何らかの関係性があると考えられる。高分子量のタンパク質成分が多

いほど分子集合体と網目構造の形成をより多く生じ、膜強度を強めていると推察される。したがって、特に卵白泡沫のバター添加試料では低分子量のタンパク質が気液界面に吸着することで対照試料よりも泡沫を不安定にしているとも考えられ、これは前報⁸⁾において、砂糖添加の卵白泡沫でバター添加試料が対照試料よりも低い泡沫安定性を示したことにとも関係するものと推察される。

砂糖無添加泡沫の上層凝固物についても、砂糖添加の場合と同様に、いずれの泡沫中にもS-S結合を含む高分子の存在が認められた(矢印表示)。

混合卵泡沫ではデンストメーターの結果より、すべてのバンドで40°Cバター添加区の試料が98°Cバター添加区よりも若干高い値を示した(Fig. 6-A')。この結果は砂糖添加の場合とほぼ同じ傾向であった。

卵黄泡沫ではデンストメーターの結果より、すべてのバンドで98°Cバター添加区の試料は40°Cバター添加区よりも若干高い値を示した(Fig. 6-B')。この結果は砂糖添加の場合と逆の傾向であった。

また、卵白泡沫でも対照試料がバター添加試料よりも薄いバンド濃度を示し、砂糖添加の場合とは異なる

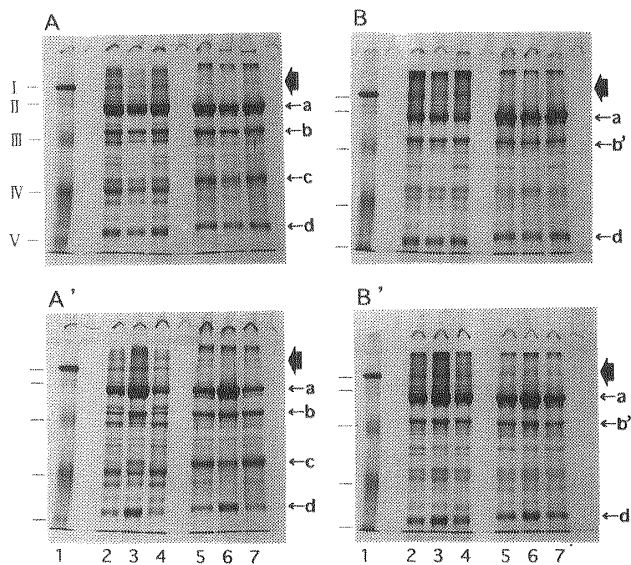


Fig. 7. Effect of butter temperature on the SDS pattern of the coagulum obtained from the lower layer of the egg foam samples

A and A': egg mixtures foam; B and B': egg-yolk foam. 1, marker; 2, control; 3, sample heated at 40°C; 4, sample heated at 98°C; 5, control (2-ME); 6, sample heated at 40°C (2-ME); 7, sample heated at 98°C (2-ME). The experimental conditions are the same as those in Fig. 6.

傾向を示した (Fig. 6-C'). これらの結果は、バター添加濃度が既述のように砂糖無添加泡沫では 13.0~15.7%と砂糖添加泡沫 (9.1~10.3%) よりも高く、さらに気泡の安定性を高める吸水性の強い砂糖の存在がないことに関係するのではないと思われる。

ii) 下層凝固物：砂糖添加および無添加泡沫の下層凝固物の電気泳動図を Fig. 7 に示す。砂糖添加の有無にかかわらず、いずれの泡沫にも 2-ME 無添加で高分子を示すバンドがみられた (矢印表示)。2-ME 添加によりこれらのバンドが消失し、下層凝固物にも S-S 結合を含む高分子の存在することがわかった。今回の実験では、これらの S-S 結合が起泡によって新たに形成されたものかどうかを断定することはできない。しかし共有結合である S-S 結合が下層凝固物中に存在することは、S-S 結合が混合卵と卵黄泡沫の安定性に何らかの影響をおよぼすものと考えられる。

砂糖添加の混合卵と卵黄の泡沫では、98°C バター添加区の試料で分子量 20.0×10^4 以上の高分子成分を示すバンドがみられ、全体にバンド濃度が濃くなる傾向を示した。すなわち、混合卵泡沫では特に分子量約 11.5×10^4 、約 8.3×10^4 、 4.7×10^4 、約 3.6×10^4 のバンド a, b, c, d で (Fig. 7-A), 卵黄泡沫では特に分

子量約 11.5×10^4 と約 8.3×10^4 、約 3.6×10^4 のバンド a, b', d で (Fig. 7-B) それぞれ顕著であった。バンド a, b' は、その分子量の大きさから LDL あるいは HDL であり、b はコンアルブミンを含む LDL あるいは HDL, c, d はそれぞれオボアルブミンとホスビチンであると考えられる。前報⁷⁾⁸⁾においてケーキに大きな膨化をもたらした、泡沫安定性の高かった混合卵の 98°C バター添加区の試料では、40°C バター添加区の試料よりバンド濃度が濃くなった。コンアルブミン自身は熱安定性は低いが、卵黄に含まれる鉄のような金属イオンと金属複合体を形成すると分子構造が密になり熱安定性が高くなる¹¹⁾。したがって卵黄を含む混合卵泡沫では、コンアルブミンの熱安定性が高まると思われる。その結果、添加されたバターの品温 (98°C) に対する耐熱性が高まり下層凝固物中に多くのコンアルブミンが存在したと思われる。またバンド a の濃度が 98°C バター添加区の試料と対照試料で同じ程度になった。卵黄の乳化性は、加熱殺菌をした卵黄を用いてエマルジョンをつくった場合、殺菌温度が高いほどエマルジョンの安定性がよいと言われている¹²⁾。今回は泡沫形成後に温度の異なるバターを添加しているため同じ条件ではない。しかし高温のバターを添加すると、若干の加熱変性により卵黄タンパク質分子の高次構造がほどけ油液界面に広がりやすくなり、乳化性が高まったのではないかと推察される。そのため、高温のバターを添加した混合卵と卵黄泡沫では卵黄タンパク質の HDL と LDL を下層凝固物に多く含むようになり、泡沫の乳化性と安定性を向上させたと考えられる。これは、卵黄中の HDL と LDL の乳化性がバター添加後の泡沫安定性を高めていることを示している。また特に卵黄中の LDL は、多量の油が存在しても起泡するといわれている¹⁴⁾。卵黄はすみやかに気液界面に配列し、卵白を含む混合卵の気液界面は優先的に卵黄中の LDL によって占められ、その泡沫の性状は卵黄泡沫に近いものになると報告されている¹⁵⁾。以上の報告は、今回の実験で上層および下層凝固物において、混合卵と卵黄泡沫が同じ傾向を示した結果とも一致する。

砂糖無添加泡沫の下層凝固物でも、砂糖添加の場合と同様に、S-S 結合を含む高分子の存在が認められた (矢印表示)。しかし、いずれの泡沫も 98°C バター添加区の試料より、40°C バター添加区の試料で既述のバンド濃度は顕著に濃くなり、砂糖添加の場合とは逆の傾向を示した (Fig. 7-A', B')。前報⁸⁾において砂糖無添加の混合卵と卵黄泡沫では、40°C バター添加区の

スポンジケーキの調製における卵泡沫構成タンパク質におよぼすバター添加温度の影響

試料で98℃バター添加区の試料より泡沫安定性が高まり、砂糖添加の場合と逆の傾向を示すことを報告した。したがって、砂糖添加の有無による混合卵と卵黄泡沫の泡沫安定性の違いは、これらの下層凝固物中のタンパク質バンド濃度にも反映されていることがわかった。

本報では混合卵と卵黄泡沫では上層と下層に、卵白泡沫では上層のみに凝固物が得られた。しかし混合卵と卵黄泡沫の対照試料では、上層凝固物が非常に少量で採取不可能であったため、これらの上層凝固物は添加したバターが主成分と思われる。一方、下層凝固物には乳化性の高いタンパク質の存在が推測された。

以上の結果から砂糖添加の有無にかかわらず、バター添加温度の違いが生地中の泡沫安定性と焼成後のスポンジケーキのテクスチャーにおよぼす影響は、特に混合卵と卵黄の下層凝固物、ならびに卵白の上層凝固物のタンパク質によって生じることがわかった。特に混合卵泡沫の安定性は、混合卵の下層凝固物に含まれるタンパク質によると考えられ、同時にそれは卵黄下層凝固物と卵白上層凝固物に含まれるタンパク質にも関係すると推察される。従って、混合卵泡沫は卵黄、卵白単独ではなく、乳化性に優れた卵黄下層凝固物中のLDL, HDLと、起泡性に優れた卵白上層凝固物中のコンアルブミン、オボアルブミンの両者のタンパク質の存在によって泡沫安定性を向上させられると思われる。その結果ケーキに大きな膨化と強いショートネス効果をもたらすと考えられた。

4. 要 約

卵泡沫の気液界面に吸着したタンパク質におよぼすバター添加温度の影響を明らかにするため、泡沫を遠心により分画した。分画された排液と凝固物に含まれるタンパク質成分におよぼすバター添加温度の影響を、電気泳動法により検討した。泡沫は、混合卵泡沫（卵黄40g, 卵白60g）、卵黄泡沫（卵黄40g, 蒸留水52.8g）、卵白泡沫（卵白60g, 蒸留水20.4g）の3種類の泡沫を調製した。バターの添加量は15g, 添加温度は40±3℃と98±3℃とし、対照としてバター無添加の試料を調製した。

(1) いずれの泡沫も凝固物中には、S-S結合を含む分子量 20.0×10^4 以上の高分子量のタンパク質が存在した。

(2) 高温のバターを添加した安定な混合卵泡沫は、その下層凝固物中にLDL, HDLとコンアルブミン、オボアルブミンを多く含んでいた。

(3) 混合卵泡沫は卵黄、卵白単独ではなく、主に乳化性に優れた卵黄のLDL, HDLと起泡性に優れた卵白のコンアルブミン、オボアルブミンを下層凝固物中に多く含むことにより、泡沫安定性とケーキの品質を高めると推察される。

引 用 文 献

- 1) 浅野悠輔, 石原良三(編):『卵—その化学と加工技術—』, 光琳, 東京, 112 (1985)
- 2) 加藤昭夫: オボアルブミンの可溶性加熱凝集体の形成とその機能特性, *New Food Ind.*, **26**, 69-82 (1984)
- 3) 北畠直文, 土井悦四郎: 食品タンパク質の泡沫特性, *New Food Ind.*, **25**, 63-75 (1983)
- 4) 土井悦四郎:『食品の物性 第19集』(山野善正, 松本幸雄編) 食品資材研究会, 東京, 99 (1984)
- 5) 田名部尚子: 卵の食品機能特性と調理利用学について, *調理科学*, **23**, 228-233 (1990)
- 6) 北畠直文, 土井悦四郎: 泡沫の物性, *日食工誌*, **34**, 549-557 (1987)
- 7) 前田智子, 浅川具美, 森田尚文: スポンジケーキの性状におよぼすバター添加温度の影響 (第1報), *家政誌*, **50**, 571-579 (1999)
- 8) 前田智子, 浅川具美, 森田尚文: スポンジケーキの調製における卵泡沫の性状におよぼすバター添加温度の影響, *家政誌*, **50**, 1139-1148 (1999)
- 9) Kitabatake, N., and Doi, E.: Conformational Change of Hen Egg Ovalbumin during Foam Formation Detected by 5,5-Dithiobis(2-nitrobenzoic acid), *J. Agric. Food Chem.*, **35**, 953-957 (1987)
- 10) Laemmli, U. K.: Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4, *Nature*, **227**, 680-685 (1970)
- 11) 佐藤 泰(編):『食卵の科学と利用』, 地球社, 東京, 56, 73, 225 (1980)
- 12) 浅野悠輔, 石原良三(編):『卵—その化学と加工技術—』, 光琳, 東京, 64, 66, 67, 114, 140, 142, 157 (1985)
- 13) 佐藤 泰, 田名部尚子, 中村 良, 渡辺乾二:『卵の調理と健康の科学』, 弘学出版, 川崎, 22 (1989)
- 14) Awazuhara, H., and Nakamura, R.: Forming Properties of Egg Yolk Low Density Lipoprotein and Ovalbumin, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **33**, 854-858 (1986)
- 15) 栗津原宏子: 全卵の泡立ち性, *家政誌*, **40**, 877-882 (1986)